

CONSEJO DE DIRECCION

Daniel Camacho
Teresa Quirós
Mario Fernández

AVANCES DE INVESTIGACION

Año 1976

Nº 9

DESARROLLO HISTORICO DE LAS OBSERVACIONES SISMOLOGICAS, CON REFERENCIA ESPECIAL A LOS MOVIMIENTOS SISMICOS CENTROAMERICANOS

Setumi Miyamura

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

En la serie "Avances de Investigación" se publican los trabajos del Instituto de Investigaciones Sociales con el propósito de suscitar debates y críticas que permitan mejorarlos antes de su publicación definitiva.

CUBIERTA: Serpiente emplumada, Cerámica Vallejo Policromo de la Gran Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Propiedad de Molinos de Costa Rica.

La serpiente emplumada se manifiesta como una constante de la simbología precolombina desde América del Norte hasta América del Sur y está relacionada con la sabiduría semi-divina a lo largo de la historia.

Correspondencia y canje diríjlos a:
Centro de Documentación
Instituto de Investigaciones Sociales
Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio"
Apartado 49
San Pedro de Montes de Oca
San José, Costa Rica.

DESARROLLO HISTORICO DE LAS OBSERVACIONES SISMOLOGICAS,
CON REFERENCIA ESPECIAL A LOS MOVIMIENTOS SISMICOS CENTROAMERICANOS

SETUMI MIYAMURA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

CIUDAD UNIVERSITARIA

COSTA RICA

1976

Esta investigación fué traducida del Inglés al Castellano
por el Sr. Carlos Francisco Echeverría y revisada en
sus aspectos formales por el Lic. Juan Caviades.

PRESENTACION

El presente estudio fué elaborado por el Doctor Setumi Miyamura, durante el período que laboró, (julio-diciembre 1975) en el Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad de Costa Rica; según acuerdo de esta institución con la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional del Instituto de Investigación de Sismo de la Universidad de Tokyo.

El trabajo trató sobre el Desarrollo Histórico de las Observaciones Sismológicas, con referencia especial a los Movimientos Sísmicos Centroamericanos.

Para el caso de Costa Rica es un valioso aporte, ya que como el autor señala, ningún plan de desarrollo de un país situado dentro de una región sísmica, puede ser elaborado sin tomar en cuenta los antecedentes y posibilidades sísmicas del mismo.

Los daños materiales y humanos que los sismos causan son de grandes dimensiones y es en este sentido que la información que el Dr, Miyamura nos entrega las bases importantes a considerar en la elaboración de políticas económicas y sociales en Costa Rica.

Cabe destacar, finalmente, que esta nueva sistematización sobre datos, informaciones e interpretaciones acerca de los antecedentes sísmicos en Centroamérica y en especial de Costa Rica, representa un importante avance en la investigación del tema y una apreciable colaboración al estudio de la realidad costarricense.

Dr. Daniel Camacho M., Director
Instituto de Investigaciones Sociales

RECONOCIMIENTO

Este trabajo fue completado durante la permanencia del autor en el Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad de Costa Rica. al cual fue enviada durante julio - diciembre 1975. por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) del Instituto de Investigación de Sismos de la Universidad de Tokyo. Los datos del ISS utilizados aquí, fueron prestados a este autor por la señorita Mitsuko Yanagisawa, del Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería de Sismos de Tokyo (IISEE).

El autor agradece a todas estas instituciones y a la señorita Yanagisawa, la cooperación prestada.

1. INTRODUCCION.

Cualquier proyecto de desarrollo de un país que esté situado dentro de una región sísmica, como Costa Rica, no puede ser planeado sin tomar debidamente en cuenta los peligros sísmicos; a su vez, no se puede tomar medidas antisísmicas sin formación básica confiable sobre la sismicidad de la región. El estudio de la sismicidad debe estar basado, entre otras cosas, en la historia más completa y más larga posible, de los movimientos sísmicos de la región, esto debido a que la sismicidad es un fenómeno geológica, histórica y geográficamente condicionado por hechos complejos que no pueden ser simplemente explicados o predichos por medio de una teoría física terminante como la plato-tectónica.

La historia sísmica de Centroamérica, en particular la de Costa Rica, no han sido estudiadas a satisfacción. Para Centroamérica, en general, existe un estudio bastante completo correspondiente a los siglos pasados, realizado por De Montessus de Ballore (1888). Por otra parte, Pío Viquez (1910), compiló datos correspondiente a Costa Rica anteriores a 1910. Los datos del presente siglo en Centroamérica no han sido reunidos, y uno debe referirse a los catálogos generales de movimientos sísmicos preparados en escala global tales como Gutenberg y Richter (1954), Rothé (1969), o bien consultar fuentes globales de datos sísmológicos tales como:

- el ISS: International Seismological Summary; 1913-63

- el boletín ISC: International Seismological Centre; 1964-71

- el boletín mensual del BCIS: Bureau Central International de Seismologie
- el PDE: Preliminary Determination of Epicenters, del Geological Survey (Servicio de Inspección Geológica de los E.E.U.U., antiguamente llamado U.S. Coast and Geodesic Service).

Otros catálogos suplementarios que podrían utilizarse son los de Molnar y Skyes (1969), el de Kelleher, Skyes y Oliver (1973), y los documentos **nacionales** que existan.

Algunos de los catálogos arriba mencionados, se han usado en la preparación del mapa centroamericano de sismicidad y/o de riesgos de movimientos sísmicos. No obstante, como lo ha señalado el autor (Miyamura, 1976, a) los catálogos internacionales no son necesariamente completos, y dejan de lado ciertos movimientos sísmicos que deberían ser tomados en cuenta al estudiar la sismicidad del país y/o al preparar el mapa de riesgos de movimientos sísmicos.

El estudio de los datos de movimientos sísmicos de Costa Rica ha sido hecho por el autor (Miyamura, 1976) y continúa haciéndose. Esto es muy importante para Costa Rica, ya que pequeños sismos destructivos en el Valle Central serían fatales para el país, pero la historia de esta clase de movimientos no puede aclararse a partir solo de los catálogos internacionales, ya que su magnitud ha sido demasiado pequeña como para que se encuentren registrados en ellos.

Los propios Gutenberg y Richter, escribieron en su libro que no se ha aceptado ningún datos del ISS sin una cuidadosa revisión y examen del epicentro, el momento de origen y la profundidad focal, y sugieren implícitamente, que solamente se adoptaron datos del ISS cui-

dadosamente examinados y que, por tanto, existe la posibilidad de que muchos movimientos no hayan sido aceptados por falta de un examen suficiente.

El autor examinó el ISS de 1950-1952 al compilar un catálogo de movimientos sísmicos de Costa Rica (Miyamura, 1976, b), ya que los últimos años cubiertos en la addenda de la segunda edición de Gutenberg y Richter (1954) parecían ser más bien insuficientes al ser comparados con el periodo anterior, estudiado en la primera edición. El resultado de la investigación reveló que muchos movimientos consignados en el ISS no se incluyen en el catálogo.

Gutenberg y Richter no registran ningún movimiento en Centroamérica, durante 1949; esto resulta casi inconcebible y debe ser considerado como un defecto en los registros hechos por los autores.

En el presente trabajo se examinan, comparativamente, los datos para Centroamérica que se encuentran en el ISS y en los catálogos de magnitud de Gutenberg y Richter (1954) y de Rothé (1969). El estudio suministra dos resultados importantes:

- 1- que las observaciones sismológicas hechas en el mundo (y el catálogo de movimientos sísmicos preparado por el Centro Internacional), muestran un desarrollo sismológico general, con altibajas, influenciado por algunos factores sociales, políticos y científicos, presentes durante el último medio siglo; y
- 2- que el registro del catálogo de magnitudes de Gutenberg y Richter no es homogéneo a lo largo del período cubierto, y que hay muchos movimientos de M. 6.75, que deben ser agregados.

La lista complementaria de movimientos sísmicos aparece en otro trabajo (Miyamura, 1976, c)

2. EL ISS Y LA OBSERVACION SISMOLOGICA:

El momento y el lugar en que ocurre el movimiento son detectados por los sismógrafos con indicadores precisos, distribuidos en todo el globo en observatorios y estaciones sismológicas. El sismógrafo funciona 24 horas al día, los 365 días del año, sin interrupción, y los sismólogos cambian en general una vez al día las hojas de registro y trabajan 365 días al año, sin vacaciones ni feriados. Cuando el sismograma obtenido registra una oscilación debida a un movimiento de la tierra, cercano o distante, grande o pequeño, queda señalado el momento exacto en que se produjo el movimiento inicial, así como los de los otros movimientos posteriores sobresalientes llamados fases. Al primer movimiento se le llama "fase P" (u onda P). La estación envía las interpretaciones a los centros nacionales y/o internacionales, por cable o por correo aéreo todos los días o, por lo menos, todas las semanas. El Centro internacional recoge los datos y calcula las coordenadas del epicentro (latitud y longitud), la profundidad del foco y el momento de origen, usando para esto los momentos de llegada de P a las distintas estaciones informantes. La amplitud y el período de las oscilaciones del temblor también son interpretadas en el sismograma y enviados al centro. Estos indicadores se usan para calcular la magnitud de los temblores.

Antes del advenimiento del computador electrónico, este cálculo era muy laborioso y tedioso. Tan pronto como nació la sismología instrumental, en las últimas décadas del siglo pasado, se inició la cooperación internacional en sismología. La Sociedad Británica para el -

Avance de las Ciencias, comenzó a publicar el Boletín Mensual Sismológico en 1913. Ella misma inició el Sumario Sismológico Internacional (ISS) en 1918.

Al estar preparando el ISS, el Dr. Turner, (Director de la Oficina del ISS), descubrió la existencia del temblor de "foco profundo" (en el que la profundidad del foco es mayor que la normal, es decir, de 100-700 Km.), cosa que también fue descubierta independientemente por K. Wadati, usando observaciones sismológicas locales hechas en Japón.

Desde entonces, el ISS ha sido una de las más importantes fuentes de datos en sismología, y muchos hallazgos sismológicos y geofísicos se han hecho a base de los datos del ISS. La sismicidad global fue puesta en mapas que partían, originariamente, de los datos instrumentales del ISS.

Durante y después de la segunda guerra mundial, el trabajo del ISS halló serias dificultades para recolectar y procesar los datos, tanto en las estaciones informantes como en la oficina central. Las publicaciones del ISS tuvieron que retrasarse mucho, principalmente debido a causas económicas.

A fin de mejorar esta situación se estableció un nuevo centro en Edimburgo, con apoyo internacional, que pasó a llamarse Centro Sismológico Internacional (ISC). El ISS terminó sus labores al publicar su volumen de 1963. El ISC continuó las tareas del anterior y comenzó a publicar el Boletín del ISC y el Catálogo Regional. Esto último lo ha estado haciendo durante el período que va desde 1964 hasta la fecha.

En síntesis: contamos con material del ISS para 1913-1963, lo que es, de hecho, medio siglo de compilaciones de las interpretaciones sismológicas obtenidas por las estaciones de todo el mundo, que contiene las ubicaciones calculadas para los epicentros, la profundidad de los focos y los momentos de origen de los temblores de tierra.

Todos los temblores localizados por el ISS en Centroamérica (a la cual se define como la región limitada por las latitudes 0 y 25 grados N y las longitudes 55 y 110 grados O), fueron tomados en cuenta. (En la tabla anexa se indican los números anuales de los temblores estudiados).

Considerando la exactitud de las localizaciones del ISS, también se incluyeron en el estudio algunos temblores localizados ligeramente fuera de los límites, recién dichos, de Centroamérica, ya que eventualmente podrían ser ubicados en la región, por otros autores, e.g. Gutenberg y Richter, (1954).

3. LA MAGNITUD Y EL CATALOGO GUTENBERG - RICHTER:

El concepto de magnitud de los temblores fue introducido originalmente por Richter (1935) para los temblores locales o cercanos a California del Sur, a fin de clasificar las dimensiones de los temblores. Agregó la quinta dimensión de los elementos focales del temblor, además de las dos coordenadas del epicentro, la profundidad del foco, y el momento de origen.

Gutenberg (1936) extendió el concepto de magnitud a los temblores distantes. Determinó la magnitud de muchos temblores que finalmente se publicaron en 1949 en el libro: "Seismicity of the Earth and associated phenomena", con C. F. Richter (Gutenberg y Richter, 1949-1954).

Antes de que se introdujera el concepto de magnitud, la sismicidad se estudiaba en base a la intensidad y destructividad del temblor en el área epicentral. Esta forma de trabajo, llevaba a ignorar, a menudo, grandes terremotos en el océano o en regiones desiertas o no pobladas, en tanto que llevaba a superestimar a los pequeños temblores ocurridos en países densamente poblados, ya que indicaban sismicidades demasiado altas en esas regiones.

Gracias a que el ISS podía dar pautas globales de sismicidad basadas en datos instrumentales, fue posible incluir muchos temblores ocurridos en el océano y en continentes remotos. No obstante, el registro tenía que reflejar la distribución de las estaciones sismológicas, registrándose en abundancia temblores en regiones como Europa, Japón y California, en donde había muchas estaciones, en tanto que se dejaba de percibir muchos temblores mayores en el hemisferio sur, en donde

existían muy pocas estaciones sismológicas. Tampoco se puede garantizar la homogeneidad de los registros en diferentes períodos.

El catálogo de magnitudes preparado por Richter y Gutenberg (1954) permitió estudiar sobre bases más razonables, la sismicidad de la Tierra en forma global, y la de muchas partes de ella misma en particular. Se han hecho muchos estudios sismológicos basados en el catálogo de Gutenberg y Richter, y puede decirse que casi ninguna investigación sobre sismicidad ha sido posible sin recurrir a este libro.

Los estudios de sismicidad en Centroamérica también se han basado en los estudios de Gutenberg y Richter (1954). No obstante, como se ha dicho en la introducción, parecía necesario un examen del catálogo. Así pues, todos los temblores registrados por Gutenberg y Richter para Centroamérica fueron seleccionados, y los números anuales se encuentran en la Tabla.*

* Entre paréntesis se dan los números anuales de temblores que se han dado dentro y cerca de Costa Rica (7.5-11.5 grados N, 82-87 grados O).

4. OTROS CATALOGOS DE MAGNITUDES:

Rothé (1969) preparó su catálogo de magnitudes para 1953-1965, como una continuación del de Gutenberg y Richter.

Duda (1965) examinó y revisó algunas de las magnitudes dadas por esos dos autores y extendió el catálogo en su parte anterior a 1904. hasta 1897, y luego de 1953 hasta 1964 para temblores $M \geq 7.0$.

Richter revisó (1957) las magnitudes de los temblores más fuertes $M \geq 8.0$.

Desde 1964 hasta la fecha se han estado publicando el Boletín del ISC y el Catálogo Regional del ISC. Incluyen las magnitudes m , de onda P de período corto de casi todos los temblores registrados, pero da muy pocas magnitudes de onda de superficie MS , que corresponden a la magnitud M indicada por Gutenberg y Richter (1954), Rothé (1965) y Duda (1965).

Ningún servicio regular internacional ha dado satisfactoriamente las magnitudes M de los temblores ocurridos desde 1964 hasta la fecha, si bien el PDE del U.S. Geol. Survey ha estado incrementando gradualmente la determinación de la magnitud de superficie MS o M .

5. TENDENCIAS HISTORICAS DEL REGISTRO DEL ISS Y DE LOS CATALOGOS DE MAGNITUDES DE GUTENBERG Y RICHTER (1954) Y ROTHE (1969) PARA LOS TEMBLORES CENTROAMERICANOS:

Como se indica en la Tabla y en la Fig. 1, la cantidad de movimientos registrados (N) en ISS, es de menos de 10 para 1913-1916; en 1920 esta cantidad aumentó abruptamente a más de 20. El número fluctúa entre 15 y 40 durante el período comprendido entre 1917 y 1930; en general puede observarse un aumento gradual para el período 1916-1939 como una fluctuación de 20~30. Después de 1931 el nivel de N alcanzó cerca de 40⁺ a 20. La fluctuación puede ser considerada una fluctuación real de la actividad sísmica, pero el incremento general observado durante el período total, 1913-1952, no puede atribuirse a un aumento de actividad sísmica, ya que tal incremento unidireccional es definitivamente innatural. Entre 1940 y 1952, el nivel es superior a 40 pero la fluctuación es muy amplia, cercana a 25, lo cual también es innatural como fluctuación real de la sismicidad. El aumento general de los movimientos registrados en el tiempo puede ser entendido como un desarrollo del nivel de la observación instrumental y la cooperación internacional de las estaciones sismológicas en todo el mundo.

La súbita declinación del número de movimientos en 1953-1963 parece obedecer a un cierto cambio en los criterios de compilación del ISS. En este momento, el autor ignora la razón de este cambio.

El número de temblores en los catálogos de magnitudes se muestran por cuadros en la Fig. 1. Son 0-6 para 1913-1924 y aumentan ligeramente a 2-9 para 1925-1930. Luego, se observa un incremento abrupto que

llega por encima de 20 en 1931-1934. Entre 1941 y 1952 los números declinaron gradualmente con una fluctuación de 5, hasta llegar casi a 0 en 1949-1952. La tendencia arriba descrita corresponde al registro de temblores de Gutenberg y Richter (1954). En la parte de arriba de la Fig. 1, están los porcentajes de temblores con magnitudes del total del ISS. Estos muestran que, antes de 1930, Gutenberg y Richter determinaron la magnitud de cerca del 20% de los temblores registrados por el ISS, durante 1931-1940 cerca del 40-60% (salvo en 1936-1938 en que el porcentaje es de cerca de 20). Para 1941-1945, entre el 20% y el 40% de los temblores registrados en el ISS se encuentran en el catálogo de Gutenberg y Richter. El promedio de registro de Gutenberg y Richter en relación con el ISS (para 1946-1952) es muy bajo; podría decirse que el catálogo de Gutenberg y Richter es un tanto incompleto en cuanto a los últimos años.

El promedio de registro del catálogo de Rothé es de cerca del 60-80% del ISS. Durante algunos años el ISS fue compilado mediante la selección de los eventos sobre la base del catálogo de Rothé, que había sido publicado antes de la compilación del ISS. Se nota que existen incongruencias entre los temblores registrados por Rothé y los registrados por el ISS, sobre todo cuando los temblores de clase d ($M 5.5^+$) se incluyen en la sismicidad.

Para propósitos de estudio, también el Catálogo de Rothé debe ser examinado cuidadosamente.

6. NUMERO DE INFORMES DE LLEGADA DE P EN EL ISS Y SU TENDENCIA

HISTORICA: *

En realidad, hay muchos movimientos sísmicos que no son consignados (en su M), por Gutenberg y Richter (1954). Incluso hay varios que no se encuentran incluidos en el catálogo de Rothé. Así pues, el estudio queda restringido a los eventos incluidos en ISS, como en los catálogos de magnitudes de Gutenberg y Richter, o Rothé.

El N_p , depende, naturalmente, de la magnitud de los temblores; es fácil comprender que, dentro de una distancia epicentral dada, los temblores de gran magnitud se registran en muchas más estaciones que los pequeños temblores.

Para clasificar los eventos del ISS, se usaron las magnitudes de Gutenberg y Richter (1954) y de Rothé (1969).

Por otra parte, " N_p "** depende de la sensibilidad de las estaciones sismográficas y del número de estaciones ubicadas en el respectivo radio de distancia. Antiguamente, cuando la sensibilidad de los instrumentos era baja y el número de estaciones era escaso, para un

* El número de informes de llegada (registrados por distintas estaciones, lo llamamos " N_p ").

En el ISS, se anotan los N_p , a las siguientes distancias epicentrales (Δ)

- A. $\Delta < 21$ grados (delta, menor de 21 grados)
- B. $21 \leq \Delta < 100$ (delta, entre 21 y 100 grados)
- C. $100 \leq \Delta < 110$ (delta, entre 100 y 110 grados)
- D. $110 \leq \Delta \leq 180$ (delta, entre 110 y 180 grados)

En este informe se considera el N_p , solamente para el radio de distancia de B. delta, entre 21 y 100 grados.

** Para facilitar la lectura, en todas las partes en que aparezca " N_p " léase: "número de informes (de llegada de la onda P)".

temblor de igual magnitud el N_p era menor. Posteriormente, con instrumentos de alta sensibilidad y más estaciones el N_p es mayor. De hecho, entonces, cuando consideramos N_p para el mismo nivel de magnitud, la tendencia de N_p representa aproximadamente el desarrollo histórico de la observación sismológica en el mundo, en cuanto a calidad (sensibilidad de los instrumentos) y a cantidad (número de estaciones). Naturalmente, hay variaciones reales de la sismicidad y, teóricamente, es un tanto difícil hacer la diferencia entre los efectos de la fluctuación de la sismicidad y los cambios en calidad y cantidad de la observación sismológica.

No obstante, como se ha dicho en la sección anterior, el aumento general y continuo de la sismicidad a lo largo del tiempo es casi inconcebible. Parte de la fluctuación de N_p se debe a la fluctuación sísmica. Ello podrá ser analizado en detalle cuando se especifiquen más magnitudes y los datos disponibles se consideren más confiables que ahora en cuanto a homogeneidad de magnitud.

Los datos utilizados se muestran en la Fig. 2; en N_p de los temblores con distintos niveles de magnitud, son ilustrados por medio de símbolos distintos, para los años en que ocurrieron.

A fin de observar más claramente la variación de N_p en el tiempo para los distintos niveles de magnitud, se dibujó la Fig. 3, tomando los temblores de cinco distintos grupos de magnitud que son los siguientes:

- Grupo A: Temblores de $M \ 7,5 \pm 0,25$
- Grupo B: Temblores de $M \ 7,0 \pm 0,25$
- Grupo C: Temblores de $M \ 6,5 \pm 0,25$

- Grupo D: Temblores de $M \geq 6,0 \pm 0,25$

- Grupo E: Temblores de clase d: $5 - 5,75$

Para cada año se ha calculado el valor medio de los N_p de cada grupo; este cálculo se ha hecho de la siguiente manera:

- Se toman tres años consecutivos
- Se suman los N_p de todos los temblores del grupo respectivo en esos tres años.
- la suma anterior se divide por el número de temblores considerados en esos tres años.
- El resultado es el $\overline{N_p}$, que se coloca en el año mediano de los tres. Por ejemplo, se suman los N_p de todos los temblores con $6,25 \leq M \leq 7,5$ en 1919, 1920 y 1921, y se dividen por el número de temblores considerados en los tres años, y ello se adjudica a 1920.

Así, el $\overline{N_p}$ de la Fig. 3 indica bastante claramente la variación de N_p en el tiempo para los distintos niveles de magnitud y puede indicar, aproximadamente, el desarrollo histórico de las observaciones sismológicas y la capacidad de localización del centro internacional.

Primeramente para el Grupo A (magnitud $7,5 \pm 0,25$), aunque los datos son escasos, puede observarse la siguiente tendencia histórica: N_p es alrededor de 30 para 1914-1917 y aumentó a $50 \pm$ en 1919-1922. No hubo temblores de este nivel de magnitud a mediados de la década de los veinte. Pero, luego N_p alcanza $80 \pm$ en los últimos veinte. En 1932-1946 N_p se mantuvo cerca del nivel de 100 y después de 1946 aumentó linealmente hasta llegar a cerca de 170 en los sesentas.

* El $\overline{N_p}$, es el "Np promedio" para un grupo de distintos N_p de determinada magnitud, nótese que en la Fig. 3, la ordenada se ha definido como N_p .

Para el Grupo B (nivel de magnitud de $7.0^{\pm} 0.25$), los datos son más amplios. Los aumentos en 1917-1918; 1924-1926 y 1930-1931 se observan más claramente que en el grupo anterior (M 7.5). En tanto que Np para el nivel M 7.5 se mantiene cerca de 100 en 1932-1946, para este grupo (M 7.0), hay dos fluctuaciones en el mismo período; Np decrece un poco a mediados de la década de los treinta y decrece de nuevo muy claramente desde 1940 a 1944. Luego de 1945 el aumento es casi paralelo al de la magnitud mayor y alcanza cerca de 160 en 1962.

La tendencia del Grupo C, (nivel de magnitud M $6.5^{\pm} 0.25$), es casi paralela a la de M $7.0^{\pm} 0.25$. El aumento en 1917-1918 es algo menor, y el aumento a mediados de los veinte tardó un poco más que el del nivel M 7.0 (grupo B) y no fue tan abrupto. Np aumenta en 1927-1939, con una ligera baja a mediados de los treinta, como se ve en el nivel M 7.0. La disminución para 1939-1946 es paralela a la del nivel M 7.0, y más clara. El aumento lineal luego de 1946 también es paralelo al del nivel M 7.0 y también más claro. En la figura se dibuja una línea libre para el nivel M 6.75 entre los cuadros de los niveles M 7.0 y 6.5.

Para el Grupo D (nivel de magnitud $6.0^{\pm} 0.25$), los datos son algo escasos antes de 1930 y el Np está casi por debajo de 20 y en 1930-1940 se observa un aumento muy gradual. El descenso en 1939-1946 es paralelo al de los Grupos B y C, como claramente se puede observar.

Debe existir un incremento posterior a 1946, pero hacen falta datos. En 1952-1959, Np se mantiene en el nivel de 60, y en 1959 comienza un aumento abrupto.

El menor nivel de magnitud estudiado es el de la clase d, y casi no hay datos anteriores a 1930 para este grupo de sismos. Se observa un aumento muy gradual del Np en 1931-1945, pero no se observa un descenso en 1940-45, como en los grupos B, C y D. La tendencia después de 1952, es casi paralela a la del grupo D, pero el aumento del Np, después de 1959 es menor.

El aumento de Np en 1917-1918 y después de 1946 es observable en todos los niveles y puede ser interpretado como una recuperación de la actividad científica, en general, luego de la primera y la segunda guerras mundiales, respectivamente. El descenso de Np durante la segunda guerra mundial se observa en las clases de magnitud media, y no se observa en las magnitudes mayores y menores. Se puede suponer que los eventos fueron registrados en estaciones cercanas a Centroamérica (norteamericanas y sudamericanas), en donde no fueron serios los efectos de la segunda guerra mundial. No es muy claro el por qué el nivel M 7.5 (Grupo A), no sufrió la influencia de la segunda guerra mundial. Durante la guerra, muchas estaciones hacían funcionar solamente los instrumentos de baja magnificación, o disminuían la velocidad del papel a fin de reducir el consumo de éste; o bien, la insuficiencia de recursos humanos solo permitía interpretar los eventos mayores. Cualquiera de éstas podría ser la razón.

Tampoco es comprensible la disminución de N_p a mediados de los treinta en los niveles M 7.0 y 6.5. (Grupos B y C). Eventualmente podría tratarse de una disminución real de la sismicidad en América Media.

Los datos para 1946-1952 son escasos principalmente por lo incompleto del catálogo de Gutenberg y Richter en este período.

El desarrollo de las observaciones sismológicas después de la segunda guerra mundial es notable para los niveles de magnitud mayores que 6.5. El aumento de N_p , o el desarrollo de observaciones sismológicas para los temblores más pequeños no comenzó, sino hasta que se recomendó la detección de este tipo de temblores, y se inició la instalación de sismógrafos sensibles durante el Año Geofísico Internacional: 1957-58, y luego de la Conferencia de Ginebra de Expertos en la Detección de Explosiones Nucleares Subterráneas por métodos sísmicos.

Considerando el desarrollo anteriormente descrito de las observaciones sismológicas globales, se definen nueve períodos de desarrollo, como se muestra en la Fig. 3, los cuales serán usados en las siguientes consideraciones.

7. RELACION ENTRE N_p Y LAS MAGNITUDES Y SU TENDENCIA HISTORICA

En las Figs. 4 y 5 se relacionan las magnitudes MGR y MRO dadas por Gutenberg y Richter (1954) y Rothé (1969) respectivamente, con el N_p dado por el ISS, clasificando los momentos en que ocurrieron los temblores por medio de diferentes símbolos. En la Fig. 4, los datos se clasifican en los 7 períodos mostrados en la Fig. 3 y en la Fig. 5 se da a cada año su respectiva leyenda.

Los datos representados en las Figs. 4 y 5 muestran un aumento general en la magnitud, con incremento de N_p para los períodos respectivos. Si bien se distingue a los temblores poco profundos y a los de profundidad intermedia por medio de símbolos huecos o rellenos, no se observa una diferencia definida en las relaciones M y N_p debida a la profundidad; los datos de profundidad serán tratados en conjunto a continuación.

A fin de observar más claramente el aumento de M con el aumento de N_p en los diferentes períodos, se han calculado las magnitudes medias MGR o MRO de los temblores con $10n \leq N_p < 10(n+2)$ ($n =$ entero) para todos los eventos en los 9 períodos respectivos y se han ubicado en $N_p = 10(n+1)$ en la Fig. 6.

En el período 1) 1913-1917 MGR aumenta de $M = 6.9^{\pm}$ con $N_p=10$ a $MGR = 7.4^{\pm}$, con $N_p = 40$. Una curva alterna obtenida al excluir un temblor CGR No. 6-820 que tiene una magnitud MGR excepcionalmente pequeña ($=6.0$) comparada con su N_p ($=26$), también se incluye.

En el período 2) 1918-21 MGR aumenta de $MGR = 6.1$ con $N_p = 10$ a $MGR = 7.4^{\pm}$ con $N_p = 60$ e indica un claro aumento en la detección de P

para las magnitudes respectivas, comparada con la de los períodos anteriores. Para el período 3) 1922-30 la relación casi coincide con la del período anterior (2) bajo MGR 6.5 pero para la MGR 6.5 el aumento de N_p con MGR es mucho más rápido que en el período anterior. (2).

Las relaciones para los cuatro períodos siguientes:

4) 1931-35; 5) 1936-39; 6) 1940-45 y 7) 1946-52 permanecen por promedio aproximadamente iguales, de $MGR = 5.75^{\pm}$ con $N_p = 20$ a $MGR = 7.0 \sim 7.5$ con $N_p = 100$. Especialmente, bajo $MGR = 6.5$ las relaciones son casi iguales. Si se omite un evento excepcional (GR No. 5-331) la relación para 7) 1946-52 muestra una curva separada de las curvas de los otros tres períodos por N_p cerca de 10, lo cual indica una mayor detectabilidad de P. Por encima de $MGR 7.0$, la curva del período 1946-52 también muestra una detectabilidad de P más alta, por 10. Entre $MGR 6.5$ y $MGR 7.0$, la curva para este período se desplaza a un N_p menor. El aumento de la detectabilidad de P luego de la II Guerra mundial es previsible y la tendencia de la curva para 7) en MGR mayor o igual que 7.0 ($MGR \geq 7.0$) y MGR menor que 6.5 ($MGR < 6.5$) parece dar cuenta de este hecho, pero el desplazamiento a un N_p menor en MGR , entre 6.5 y 7.0 ($6.5 < MGR < 7.0$) es sorprendente. La curva del período de la II guerra mundial muestra una detectabilidad menor en $MGR > 7.0$ y ello es comprensible como resultado de la guerra.

Las curvas para el período 8) 1954-58 y el 9) 1959-63 muestran un desarrollo notable de la detectabilidad de P en la observación

sismológica global para todas las magnitudes. Para 1953-58 N_p 20-50 con $MGR = 5.75^+$ y alcanza $N_p = 140-160$ en $MRO = 7$; en tanto que para 1959-63 la curva comienza casi en el mismo lugar, en $MRO 5.75$, pero, el N_p aumenta rápidamente bajo $MRO = 6.0$ y alcanza $N_p = 170$ en $MRO = 7.0$. El aumento de la detectabilidad de P para los temblores menores de $M 6.5$, es muy notable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- De Montessus de Ballore, F., 1888. Tremblement de terre et eruptions volcaniques au Centre-Amerique, Dijon, 293 p.
- 2- Duda, S. J., 1965. Secular seismic energy release in the Circum-Pacific belt. Tectonophysics, vol. 2, pp. 409-452
- 3- González Víquez, C., 1910. Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica, 1608-1910. San José, Costa Rica 200 p.
- 4- Gutenberg, B., 1936. On seismic waves (third paper). Gerlands Beitr. zu Geophys; pp. 73-132
- 5- Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1954. The Seismicity of the Earth and Associated Phenomena. 2nd. edition. Princeton University Press, 310 p.
- 6- Kelleher, J. L. Sykes and J. Oliver, 1973. Possible Criteria for Predicting Earthquake Locations and their Application to Major Plate Boundaries of the Pacific and the Caribbean. Journ. Geophys. Res., vol. 78 pp. 2547 - 2585.
- 7- Miyamura, S., 1976a. Important Aspects of Costa Rican Seismicity. Revista de Geofísica, N° 5, I.P.G.H., México. (en prensa).
- 8- Miyamura, S., 1976b. A Catalogue of Earthquakes in Costa Rica and its Surrounding for 1904-1963. Capítulo V. Contribucion al Conocimiento de la Sismicidad en Costa Rica por S. Miyamura, San José, Costa Rica. (en prensa).
- 9- Miyamura, S., 1976c. Provisional Magnitudes of Middle American Earthquakes whic are not listed in the magnitude catalogues of Gutenberg, Richter and Rothé. Avances de Investigación, Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad de Costa Rica (en prensa).
- 10- Molnar, P. and L. Sykes, 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from Focal Mechanisms and Seismicity. Bull. Geol. Soc. Am., vol. 80, pp. 1639 - 1684.
- 11- Richter, C.F., 1935. An Instrumental Earthquakes Scale. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 25, pp. 1-32
- 12- Richter, C.F., 1957. Elementary Seismology. Freeman & Co., San Francisco. 768 p.
- 13- Rothé, J. P., 1969. The Seismicity of the Earth, 1953-1965. UNESCO, Paris, 336 p.

PRESENTACION DE LAS FIGURAS

Figura 1.:

Tendencia histórica de:

O: número de sismos "N" registrados en el ISS, con interpretación de las estaciones.

: número de sismos N', incluidos en los catálogos de Gutenberg - Richter (1954) o Rothé (1969)

número de sismos, tanto en ISS como en Gutenberg-Richter o Rothé.

Los números 2 y 3 son coincidentes para el catálogo de Richter y Gutenberg, excepto para 1916. Las figuras de arriba muestran el porcentaje de sismos incluidos en los catálogos de magnitudes en relación con los del ISS. (1 ~ 3): Número de sismos N' que se estiman iguales o mayores que M 6.75, se muestra también (4 y 5) en la figura de arriba. El nivel Np para M 6.75 está tomado de la Fig. 3 (4) y de la Fig. 6 (5).

Figura 2.:

Número de informes del momento de llegada de P (Np) en las estaciones situadas dentro del radio de distancia epicentral de:

$21 \text{ grados} \leq \Delta < 100 \text{ grados}$ anotados en el ISS para el período 1913-

1963. Los sismos de magnitudes diferentes se representan por medio de distintos símbolos, como se muestra en la leyenda.

Figura 3.:

Tendencia histórica del aumento de los informes del momento de llegada de P a las estaciones situadas dentro de un radio de distancia de 21 grados $\leq \Delta <$ en el ISS para los distintos niveles de magnitud. Se ha dibujado a mano alzada una línea suave correspondiente a M 6.75. Los niveles de magnitud se muestran por medio de diferentes símbolos y el número de sismos registrados (NEQ) se distingue por el tamaño de los símbolos, como se muestra en la leyenda.

Figura 4.:

Magnitud dada por Gutenberg y Richter (1954) MGR contra el número de momentos de llegada de P, (Np), en las estaciones situadas dentro del radio de distancia epicentral $21 \text{ grados} \leq \Delta < 100 \text{ grados}$, anotados en el ISS. Los sismos de poca profundidad intermedia de foco se muestran respectivamente por medio de símbolos huecos y relleños, y se representan 7 distintos períodos por medio de diferentes símbolos, como se indica en la leyenda. Se dan las fechas de algunos Np excepcionalmente altos o bajos para su magnitud, junto con el N°. de sismo del catálogo de Gutenberg y Richter. Los sismos de la clase d se señalan como M = 5.55.

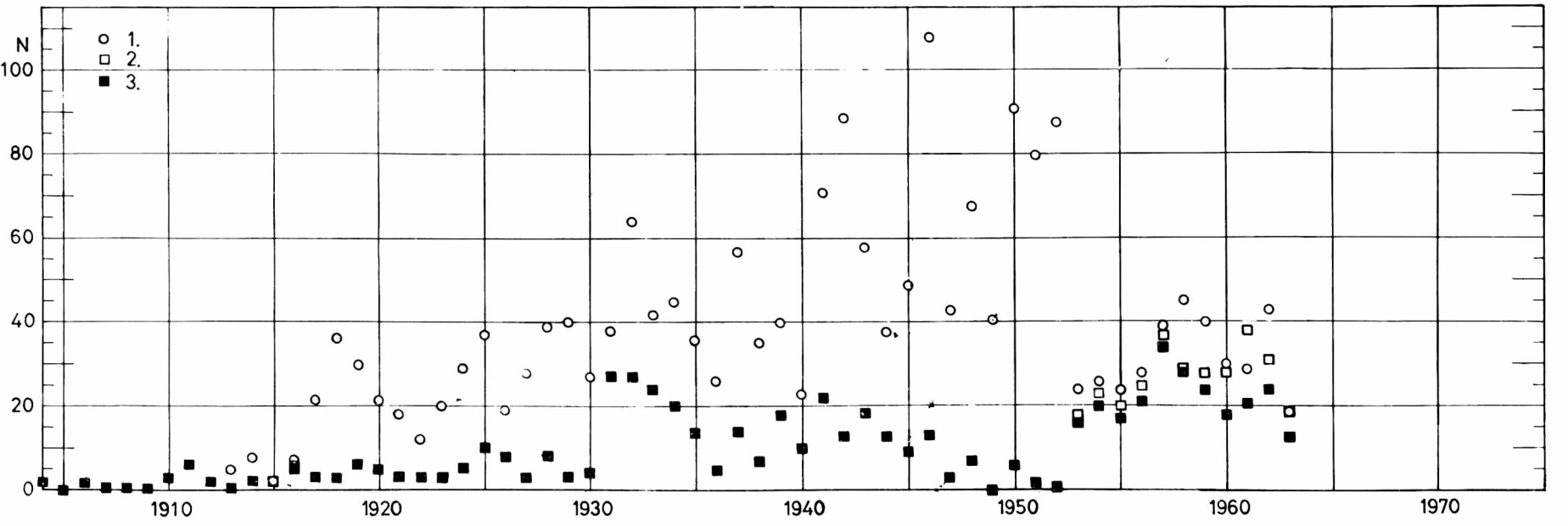
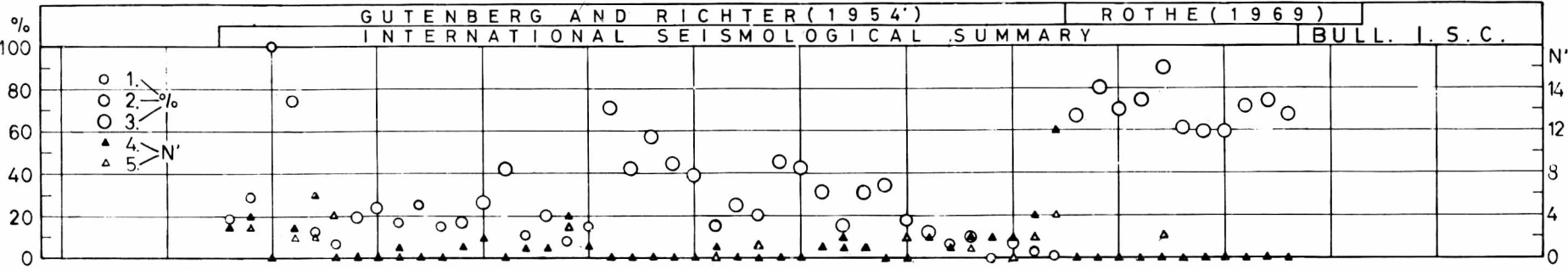
Figura 5.:

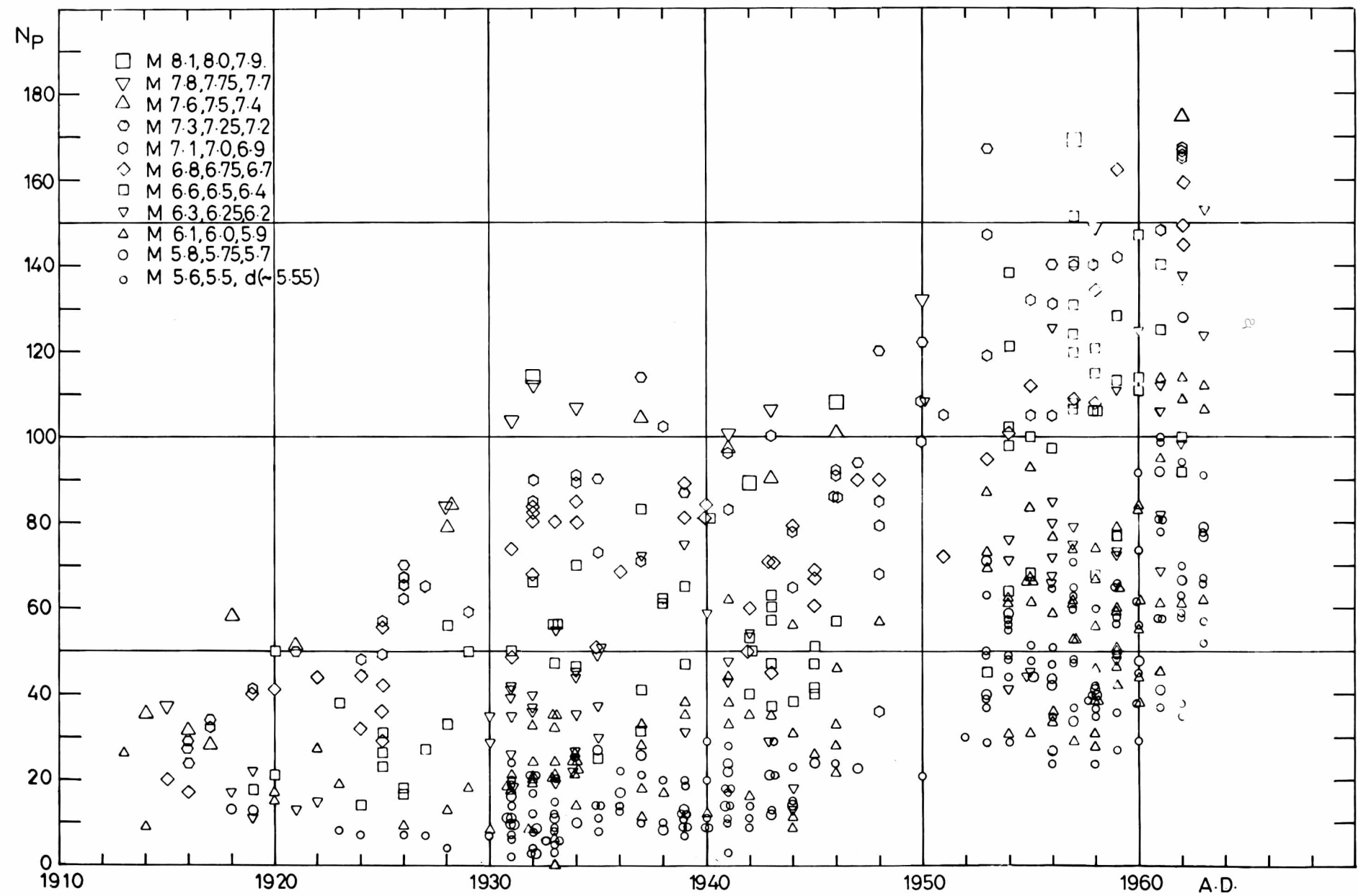
La magnitud dada por Rothé (1969) MRO contra el número de momentos de llegada de P, Np, en las estaciones situadas dentro de un radio de distancia epicentral de 21 grados $\leq \Delta <$ 100 grados, anotados en el ISS. Los sismos de foco poco profundo e intermedio se muestran respec-

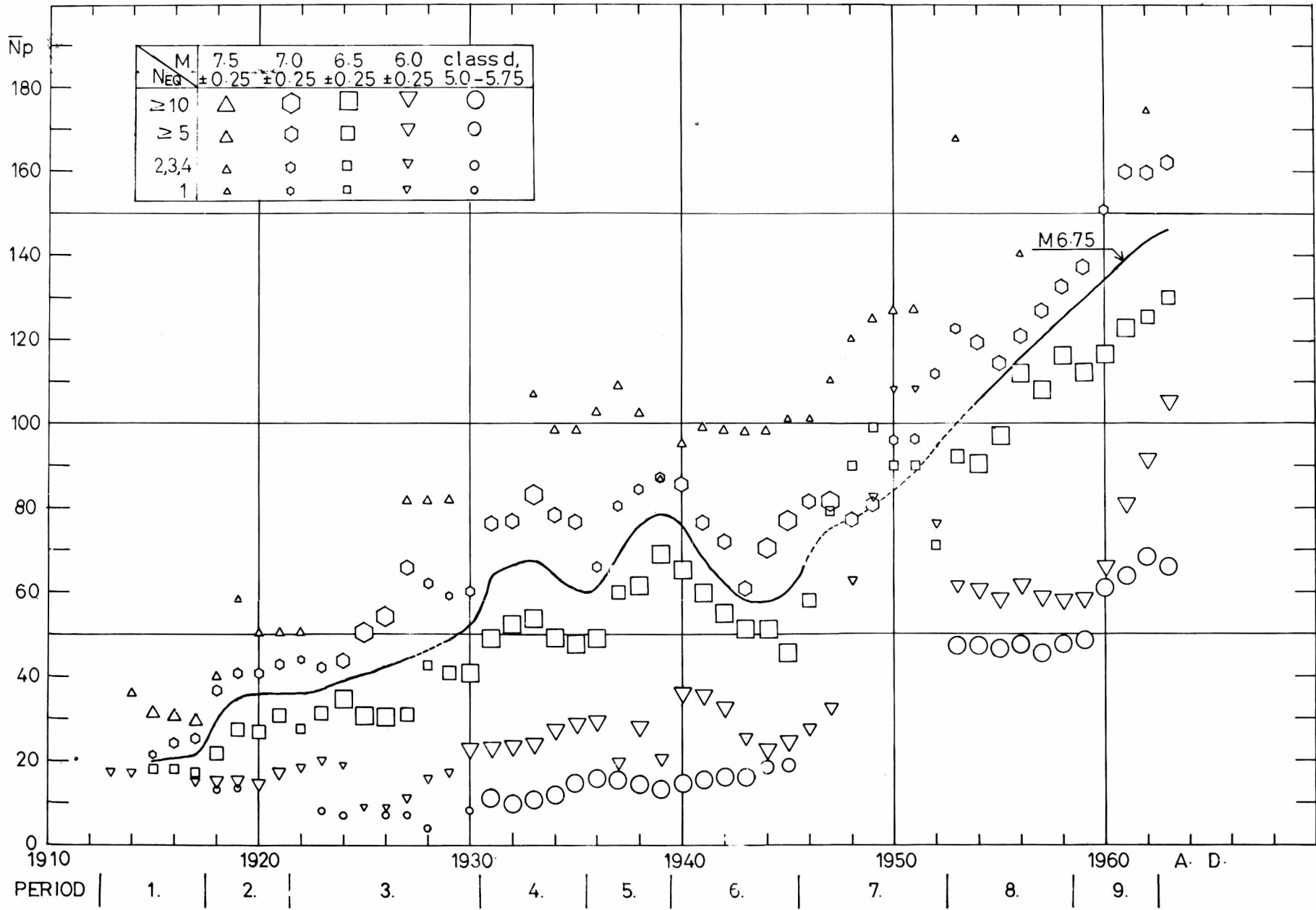
tivamente por medio de símbolos huecos y rellenos, y el año en que ocurrieron se representa por medio de distintos símbolos, como lo indica la leyenda.

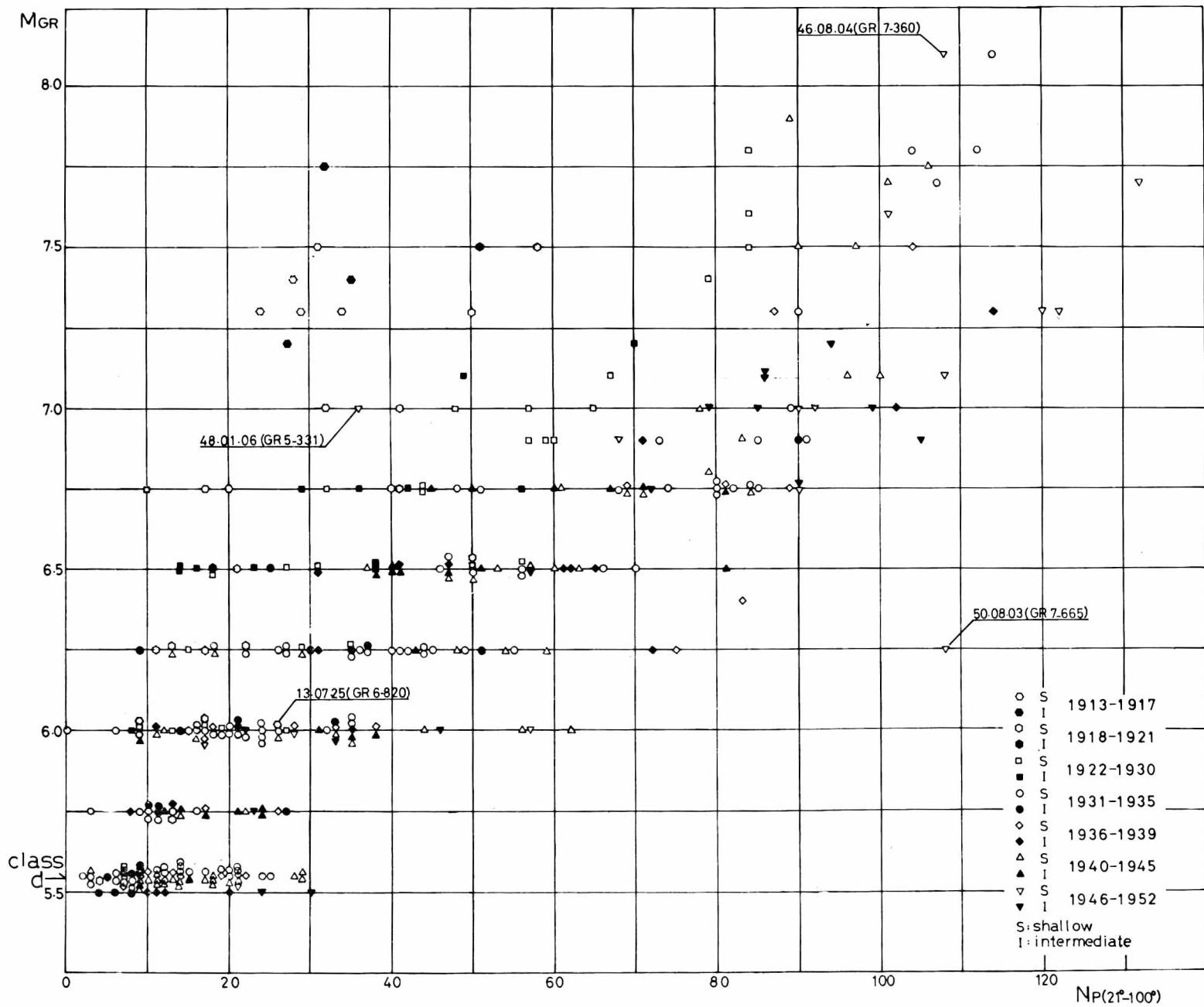
Figura 6.:

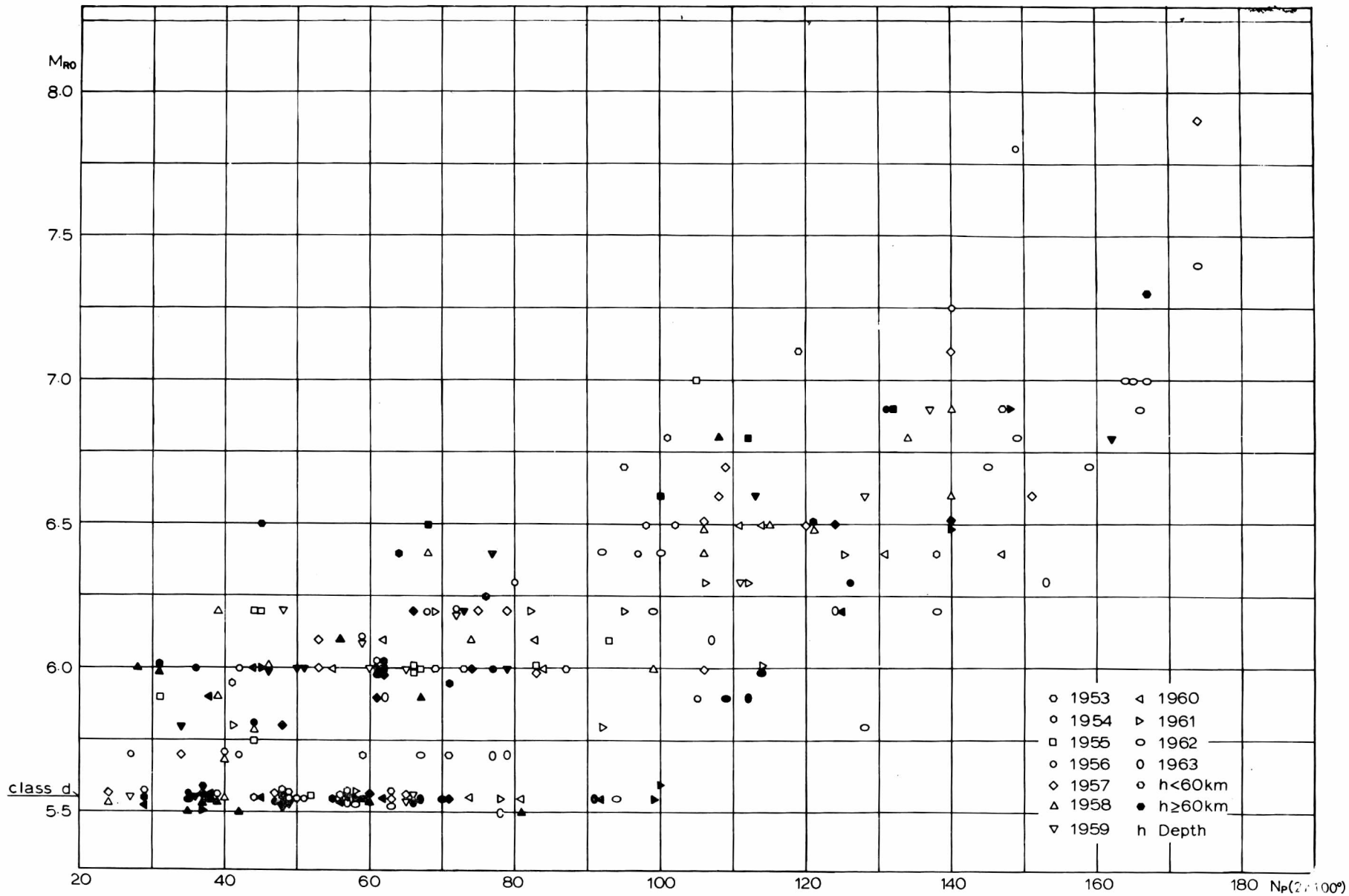
Relaciones promediadas entre las magnitudes MGR o MRO y N_p . La coordenada M es la media de MGR o MRO con N_p como $10^n \leq N_p < 10^{n+2}$; ($n = 1, 2, 3 \dots$). Se tratan por separado los nueve distintos períodos definidos en la Fig. 3, a fin de mostrar claramente el desarrollo histórico del aumento de N_p o el estado de la observación sismológica global.











TABLA

A

PERIODO	AÑO	Nº DE TERREMOTO EN ISS N	Nº DE TERREMOTO EN G.-R. N'	N' / N X 100 %	RESULTADOS
1	1913	5 (0)	1 (0)	20.0	G-R No. 5-526 M 7.1 no es incluido en ISS
	1914	8 (0)	2 (0)	25.0	
	1915	2 (0)	2 (0)	100.0	
	1916	8 (2)	6 (2)	75.0	
	1917	21 (1)	3 (0)	14.3	
2	1918	23 (2)	3 (0)	3.2	
	1919	29 (0)	6 (0)	20.7	
	1920	21 (0)	5 (0)	23.7	
	1921	18 (1)	3 (0)	16.7	
3	1922	12 (0)	3 (0)	25.0	
	1923	30 (0)	3 (0)	15.0	
	1924	29 (14)	5 (1)	17.2	
	1925	37 (2)	0 (0)	27.0	
	1926	19 (1)	8 (0)	42.1	
	1927	28 (2)	3 (0)	10.7	
	1928	39 (0)	8 (0)	20.5	
	1929	40 (2)	3 (1)	7.5	
	1930	27 (1)	4 (0)	14.8	
4	1931	38 (4)	27 (3)	71.1	
	1932	64 (1)	27 (1)	42.2	
	1933	42 (7)	24 (5)	57.1	
	1934	45 (14)	20 (7)	44.4	
	1935	36 (2)	14 (0)	38.9	

PERIODO	AÑO	Nº DE TERREMOTO EN ISS N	Nº DE TERREMOTO EN G.-R. N'	N'/N X 100 %	RESULTADOS	
5	1936	34 (5)	5 (1)	14.7		
	1937	57 (7)	14 (1)	24.6		
	1938	35 (1)	7 (0)	20.0		
	1939	40 (7)	18 (4)	45.0		
6	1940	23 (7)	10 (2)	43.5		
	1941	71 (16)	22 (5)	31.0		
	1942	89 (3)	13 (0)	14.6		
	1943	58 (1)	18 (0)	31.0		
	1944	38 (4)	13 (0)	34.2		
	1945	49 (2)	9 (0)	18.4		
7	1946	108 (3)	13 (0)	12.0		Incluya dos movimientos 25.1°N, 109°.7W en enero y ma- yo.
	1947	43 (1)	3 (0)	7.0		
	1948	68 (4)	7 (1)	10.3		
	1949	41 (5)	0 (0)	0.0		
	1950	91 (9)	6 (0)	6.6		
	1951	79 (9)	2 (0)	2.5		
	1952	86 (12)	1 (0)	1.2		

B

PERIODO	AÑO	NUMERO DE TERRE MOTO EN ISS	NUMERO DE TERRE MOTO EN R O	N''/N X 100 %	RESULTADOS N''=N' - (N° de movimientos no son incluidos en ISS, en los re- sultados).
8	1953	24 (1)	18 (0)	66.7	ROY 7-013,8-020 no son incluidos en ISS, i.e. N''=16
	1954	25 (0)	23 (0)	80.0	ROY 7-020,6-051 7-514 no están incluidos en ISS
	1955	24 (0)	20 (0)	70.8	Roy 5-008,5-057, 44-023 no están incluidos en ISS
	1956	28 (1)	25 (1)	75,0	MAY 24, 26°.2N, 109°.8Westá in- cluido. ROY 5-016,5-532, 6-021 no están incluidos en ISS
	1957	39 (3)	37 (3)	89.7	ROY 6-035,44-019 no son incluidos en ISS
	1958	45 (3)	29 (2)	62,2	ISS incluye apr. 12, 26° N,110°, 78 W. ROY 7-035 no son incluidos en ISS
9	1959	40 (6)	28 (3)	60.0	ROY5-029,5-041, 7-048, 44-015 no son incluidos en ISS
	1960	30 (1)	28 (1)	60.0	ROY5-018,5-033, 5-048, 5-070, 6-001,6 005,7-023 44-007,44-020 no son incluidos en ISS

PERIODO	ANO	Nº DE TERREMOTO EN ISS N	Nº DE TERREMOTO EN R. O. N'	N' / N X 100 %	RESULTADO
	1961	29 (2)	38 (2)	72.4	ROY5-003, 5-004 5-010, 5-013, 5-014, 5-017, 5-504, 6-504, 7-001, 7-026, 7-031, 7-045, 7-055, 7-502, 7-501, 44-018 no son incluidos en ISS
9	1962	43 (5)	32 (1)	74.4	ROY5-009, 5-083, 6-038, 6-518, 7-029, 7-037, no son incluidos en ISS.
	1963	19 (1)	19 (1)	68.4	ROY6-002, 6-008, 7-027, 7-038, 8-009, 44-022, no son incluidos en ISS